

(7) 橋梁下部工を対象とした プロダクトモデルの拡張と検証

影山 輝彰¹・矢吹 信喜²

¹正会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: kageyamt@jacic.or.jp

²フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

E-mail: yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

土木工学分野におけるプロダクトモデルの利用については、2012 年 7 月より国土交通省が開始した CIM (Construction Information Modeling/Management) によりその重要性が認識されつつある。CIM は調査・設計、施工、維持管理・サービス提供の各段階に跨る情報を一元的に連協・共有・保管することで品質の向上と作業の効率化を図ることにより労働生産性の向上を目指すものである。しかし、現状では CIM におけるプロダクトモデルの利用に関連する研究は少ない。本研究では「橋梁詳細設計業務の効率化と設計成果の適切な保存と共有」を目的とし、橋梁下部工を対象に橋梁詳細設計業務における情報を概念モデルとして整理し、橋梁のプロダクトモデルである IFC-BRIDGE に実装可能なクラスとして拡張を行い、実構造物を例として適用した事例を報告する。

Key Words: CIM, product model, 3D CAD, design, construction

1. はじめに

国土交通省では、建築分野における BIM (Building Information Modeling) の広がりを踏まえ、土木分野に BIM の概念を取り入れた CIM の試行を 2012 年度より開始した。CIM を実現する手法のひとつとしてプロダクトモデルがある。プロダクトモデルとは「製品を製造するために必要な形状、機能およびその他のデータによって、その製品をコンピュータ内部に表現したモデル」¹⁾である。橋梁を対象としたプロダクトモデルに関する既往の研究には矢吹ら^{2), 3)}によるプロダクトモデルの開発と応用や藤澤ら⁴⁾による下部工を対象とした三次元設計モデルの積算の利用に関する研究が行われている。しかし、詳細設計業務とプロダクトモデルの関係にまで着目した研究までは行われていない。そこで、本研究では橋梁下部工を対象に橋梁詳細設計業務における情報を類型化して概念モデルとして ER 図 (Entity Relationship Diagram) を用いて整理し、橋梁のプロダクトモデルである IFC-BRIDGE⁵⁾に当てはめて不足する箇所を実装可能なクラスとして拡張を行い、実構造物を例として適用した事例を報告する。

2. 下部工詳細設計に用いる情報の定義

(1) 橋梁詳細設計

橋梁詳細設計は、予備設計で決定された橋梁形式について、設計図書、既存の関連資料及び予備設計で検討された設計条件に基づき、工事に必要な詳細構造を経済的かつ合理的に設計し、工事発注に必要な図面・報告書を作成することを目的としている。国土交通省における橋梁詳細設計業務では、表-1 に示すように設計業務等共通仕様書⁶⁾に従い橋梁詳細設計項目として設計計画、現地踏査、設計条件の確認、設計細部事項の検討、設計計算などを実施する。

表-1 橋梁詳細設計項目

No.	橋梁詳細設計項目	No.	橋梁詳細設計項目
1	設計計画	10	座標計算
2	現地踏査	11	架設計画
3	設計条件の確認	12	仮設構造物設計
4	設計細部事項の検討	13	仮橋設計
5	設計計算	14	橋梁附属物等の設計
6	設計図	15	施工計画
7	数量計算	16	関係機関との協議資料作成
8	景觀検討	17	照査
9	動的照査	18	報告書作成

(2) 橋梁詳細設計調書

橋梁詳細設計項目に従い実施した内容は、橋梁詳細設計調書⁷⁾として取りまとめられる。橋梁詳細設計調書には、上部工や下部・基礎構造などの部材ごとに設計条件や部材諸元が整理される。しかし、部材ごとに取りまとめられるため、記載されている情報の関連性と階層構造がわかりづらい。そこで、橋梁詳細設計調書より下部工に関する情報を表-2 に特性情報（設計条件、部材諸元）と表-3 に形状情報として類型化して抽出した。

(3) 特性情報（設計条件、部材諸元）

「特性情報（設計条件）」は、表-2 に示すように橋梁詳細設計項目として決定、算出される構造形式、上部工反力と橋台条件とした。

「特性情報（部材諸元）」は、表-3 に示すように橋台を構成する翼壁、胸壁、堅壁と基礎ごとの断面の鉄筋、許容応力度法と落橋防止構造とした。

(4) 特性情報（設計条件、部材諸元）

表-1 に記載している下部工形状と表-2 に記載している断面の寸法とした。

(5) 関連性の整理

図-1 に示すように、ER 図（Entity Relationship Diagram）を用いて、下部工に用いられている特性情報（設計条件、部材諸元）と形状情報の関連性と階層構造を整理した。

表-2 下部工設計条件

詳細設計項目	種別	細別
構造形式	支承条件 (水平支持)	橋軸方向 (左側, 右側) 直角方向 (左側, 右側)
	上部工形式	
	下部工形式	
	基礎工形式	
上部工反力	死荷重	
	活荷重	
慣性力作用位置 (橋軸, 直角)		
下部工形状	下部工寸法	躯体高 (橋台はパラペット含) フーチング幅 (橋軸, 直角) フーチング厚 斜角
		橋座幅
		支承縁端距離 水平耐力
		けたかかり長 $\geq S_R, S_{EM}$ 斜橋 S_{RB} 曲線橋 S_{RB}
	橋台条件	裏込め土 せん断抵抗角 単位体積重量 路掛版の設置の有無 胸壁に取り付く落橋防止構造の有無

表-3 橋台部材設計

詳細設計項目	種別	細別
断面	寸法	断面幅 断面高 有効高
		軸方向鉄筋 せん断補強鉄筋
		断面力 荷重状態 曲げモーメント せん断力
許容応力度法 (震度法)	照査	曲げ圧縮応力度 曲げ引張応力度 せん断応力度 必要せん断補強鉄筋量 最小鉄筋量の照査
落橋防止 構造		設計地震力 曲げモーメントの照査 せん断力の照査 押抜きせん断応力度の照査

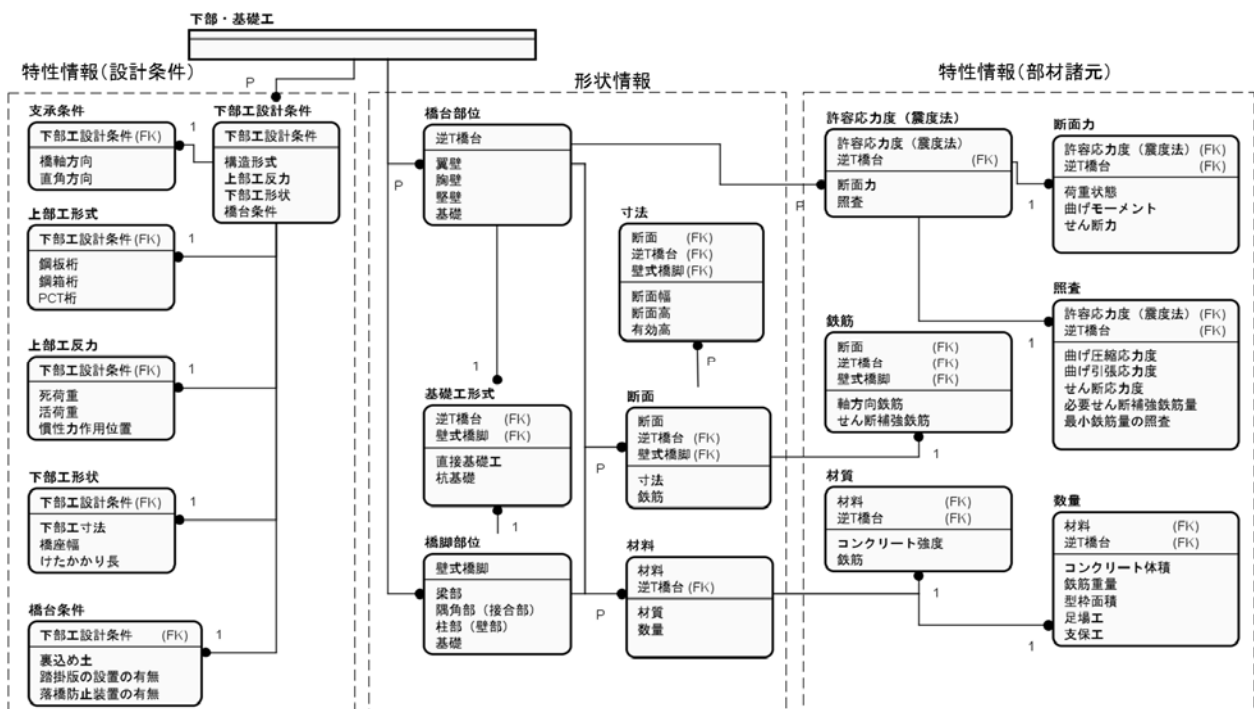


図-1 橋梁詳細設計（下部工）に関する情報の概念モデル（ER図）

3. 下部工を対象とした橋梁プロダクトモデルの拡張

(1) IFC-BRIDGE

IFC-BRIDGE とは、bSI (buildingSMART International) が開発・運用している IFC (Industry Foundation Classes) ⁸⁾ を拡張した橋梁のプロダクトモデルである。IFC は、BIM において使用する様々なソフトウェア間のデータ交換を行うための国際標準フォーマットである。IFC では、製品データを表現する基本単位をエンティティ (Entity) 、エンティティの内容を記述するものをアトリビュート (attribute) 、エンティティで構成しプロダクトモデルとして記述されたものをスキーマ (Schema) と呼んでいる。

IFC-BRIDGE の特徴として、新たにプロダクトモデルを開発するのではなく、既存の IFC を利用しつつ橋梁を構成するために必要なエンティティを新たに定義していることである。

(2) 下部工詳細設計に関する情報と橋梁プロダクトモデルの関係

IFC-BRIDGE は、橋梁全体を階層化した空間に関する情報を表す空間要素 (Structure Elements) と物理的な形状や特性などの情報を表す物理要素 (Physical Elements) で構成されている。そこで、橋梁詳細設計において準拠する下部・基礎と杭構造に関する示方書 ^{9) 10)} に従い選定する構造形式を適用するため IFC-BRIDGE の空間要素を、特性・形状情報として定義した下部工詳細設計に用いる情報が適用できるように物理要素の拡張を行った。なお、建築分野と共通する鉄筋や杭は、既に IFC のエンティティとして存在しているが、各国の設計基準 ¹¹⁾ は異なり日本の下部工詳細設計条件を具備した下部工のプロダクトモデルは、日本独自の仕様となることから、新たなエンティティとして定義した。

(3) 空間要素 (Structure Elements) の拡張

IFC-BRIDGE の空間要素に関する記述は、上部構造を主体として定義しているため下部・基礎構造、杭構造に関する定義がない。そこで、空間要素を表す IfcBridgePart のアトリビュートが参照する IfcBridgeStructureElementType の選択肢に下部・基礎構造 (Substructure) と杭構造 (Pile) の値を新たに定義して下部・基礎構造、杭構造に関する情報を表す空間を拡張できるようにした。

(4) 物理要素 (Physical Elements) の拡張

下部構造と基礎情報の追加には、空間要素と同様に新たに属性を追加する方法もある。しかし、橋梁詳細設計において下部構造は橋台と橋脚に区別されるとともに、

橋台の形式は「逆 T 式」「ラーメン」「箱式」「盛りもぼし」に、橋脚形式は、「柱式」「壁式」「ターロッキング式」「ラーメン式 (一層)」「ラーメン式 (二層)」「二柱式」に細別される。

このため、アトリビュートが参照する選択肢として追加した場合には、下部構造とその形式を列挙することになり、既存の選択肢における分類や整合性に関する新たな課題が発生する。そこで、図-2 に示すように新たなエンティティを定義し、物理要素を拡張した。

4. 実構造物への適用

(1) 空間要素に関するインスタンスの作成

空間要素には、まず IfcSite として下部・基礎構造と杭構造の位置的な位置関係などを設定する。適用例とする下部・基礎構造は逆 T 式橋台、杭構造は中掘 SC+PHC とする。なお、プロダクトモデルには空間要素の実体である幾何形状を保有しない。

(2) 物理要素に関するインスタンスの作成

図-3 に下部・基礎と杭構造に関する物理要素を適用したインスタンスを示す。

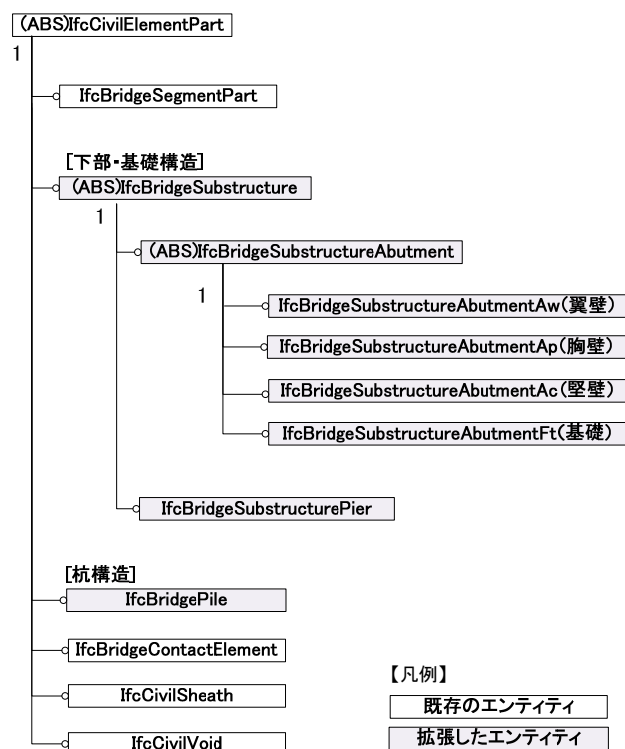


図-2 物理要素の拡張

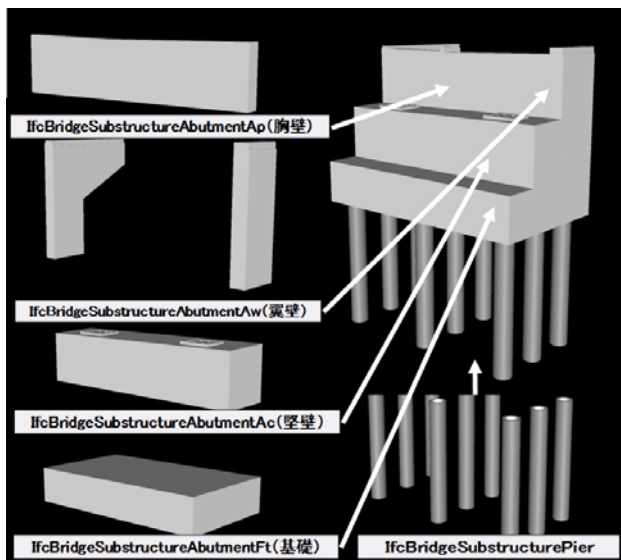


図-3 物理要素（インスタンス）

5. まとめ

(1) 結論

本研究では、橋梁下部工を対象に橋梁詳細設計業務における情報を類型化して概念モデルとして ER 図を用いて整理し、橋梁の製品モデルである IFC-BRIDGE に当てはめて不足する箇所を実装可能なクラスとして拡張を行い、実構造物を例として適用した事例を示した。

その結果、以下のことが分かった。

- ・ 下部工詳細設計に関する情報は、特性情報（設計条件、部材諸元）と形状情報に分類して、橋梁製品モデルと関連付けることができる。
- ・ 橋梁製品モデルである IFC-BRIDGE は上部構造を主体とした定義が行われているが、橋梁を構成する部材である下部・基礎構造や杭構造に拡張することが可能である。

(2) 今後の課題

2016 年度より国土交通省では CIM の導入を加速するため、CIM 導入推進委員会として検討体制を再構築し、CIM 試行事業を進める予定である。この CIM 導入推進委員会や CIM 試行事業を通じて、『CIM 導入ガイドライン』を策定することとしている。土木工学分野における製品モデルを利用した取組みの初期段階では、効果事例や活用方法など示して幅広く普及啓蒙活動を行うことも必要であると考えられる。コンカレントエンジニアリングやフロントローディングの思想を鑑みて、設計段階における品質を高め、施工段階や維持管理段階に跨る情報の共有・連携を実現するためには、従来の二次元図面を成果とした設計手法から製品モデルを設計成果とする取組みが必要になると考えられる。

本研究では、IFC-BRIDGE を拡張して実構造物への適用を行った。しかし、上部工を含め橋梁すべてを対象とした確認を行っていない。このため、橋梁詳細設計業務の効率化と設計成果の適切な保存と共有を目指すため、海外における橋梁製品モデルに関する動向を調査しつつ、今後さらに本研究で実施した研究の流れを踏まえ、橋梁全体を対象として詳細設計項目に関する情報と製品モデルの関係の分析を深めて IFC-BRIDGE の拡張を進める必要がある。さらに、積算などの後続業務への適用についても研究の幅を広げる必要がある。

謝辞：本研究の遂行に際して、製品モデルの現状ならびに作成に関する助言をいただきました（株）コンポートの有賀貴志氏に御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本規格協会：CAD 用語 JIS B 3401, 1993.
- 2) 矢吹 信喜, 志谷 倫章：PC 橋の 3 次元製品モデルの開発と応用, 土木学会論文集, No. 784/VI-66, 171-187, 2005.
- 3) 矢吹 信喜, 李 占涛：日仏橋梁製品モデルの統合化による新 IFC-BRIDGE の開発と CAD コンバータの改良, 土木情報利用技術論文集, Vol. 15, P 59-66, 2006.
- 4) 藤澤 泰雄, 矢吹 信喜, 五十嵐 善一, 吉野博之：鉄道高架橋を対象とした三次元設計モデルの積算・施工への利用、土木学会論文集 F3, Vol. 67 No. 2, pp. 8-17, 2011.
- 5) IFC-BRIDGE V3 Data Model IFC4 Edition R3, February 2013.
- 6) 国土交通省関東地方整備局：設計業務等共通仕様書, P6-186, 2015.
- 7) 国土交通省中部地方整備局ホームページ, 詳細設計照査要領,
<<http://www.cbr.mlit.go.jp/architecture/kensetsugijutsu/specifications/design.htm>>, (入手 2016.5.1)
- 8) Industry Foundation Classes IFC4 Official Release ,
<<http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/>>, (入手 2016.5.12)
- 9) 高速道路総合技術研究所：設計要領第二集 擁壁・カルバート編 全 2 編, 2012.
- 10) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 2012.
- 11) 野上邦栄, 依田照彦：海外における鋼構造物の設計技術基準の現状, 土木学会 第 5 回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, 2002.